بررسی تأثیر شکل مقطع حفاری بر اصطکاک جدار و رفتار خزشی میخ‌های گروتی در گونه‌ای از خاک مارن زیتونی تبریز*

غلام مرادی [۱] سیامک زادکریم [۲] هوشنگ کاتبی [۳]

چکیده *استفاده از سیستم میخکوبی به‌دلیل مزایای فراوان آن، از راهکارهای مرسوم برای تثبیت دیواره‌های گود محسوب می‌شود. باتوجه به رفتار متفاوت خاک‌های مارنی در کوتاه و بلندمدت و نیز نقش اساسی اصطکاک بین گروت سیمانی با خاک اطراف خود در دیوارهای میخکوبی‌شده، در این تحقیق به بررسی مقاومت کششی و رفتار خزشی میخ‌ها در گونه‌ای از خاک مارن‌سبز، پرداخته شده‌است. بدین منظور تعداد شش عدد میخ به قطر ۰/۱۱ و به‌طول ٤ متر در حالت قائم و دو میخ با همان مشخصات در حالت افقی با زاویهٔ ۱۵ درجه نسبت به افق در مقیاس واقعی اجرا و اثر شکل مقطع حفاری در مقاومت کششی و رفتار خزشی میخ‌ها، مورد بررسی قرار گرفت که حاکی از افزایش ۲۰ الی ۲۵ درصدی مقاومت کششی میخ‌های اجراشده با حفاری سه‌پره‌ای (جدار ناصاف) نسبت به حالت حفاری با جدار صاف در میخ‌های قایم و افزایش حدود ۱۵ درصدی آن در میخ‌های افقی می‌باشد.*

واژه‌های کلیدی مارن، میخ‌کوبی خاک، شکل مقطع حفاری، مقاومت کششی، خزش، مقیاس واقعی.

Field Study of The effect of Drilling Type on tensile strength and creep behavior of soil nails in Tabriz Green marl

Gh. Moradi S. Zadkarim H. Katebi

Abstract *Using the Soil Nailing due to its numerous advantages, the traditional approach is to stabilize the excavation walls fitted. Due to the different behavior of marl soils in short and long-term and fundamental role of friction between soil cement grout around the walls were nailed, In this study, tensile strength and creep behavior of soil nails to maintain green marl are discussed. Therefore, the number 6 nails diameter of 11 cm and a length of 4 m in vertical and 2 achieve the same as the horizontal at an angle of 15 degrees to the horizon scale has been constructed and the effect of Drillings Type on the tensile strength and creep behavior were investigated. the results indicates 20 to 25% increasing in tensile strength of nails in vertical mode and 15% increasing in a horizontal mode implemented with non-smooth drill compared to smooth drill.*

Key Words Marl, Soil Nailing, Drilling Type, Tensile Strength, Creep, Field Study.

* تاریخ دریافت مقاله ۹٤/۲/۸ و تاریخ پذیرش آن ۹٤/۱۲/۲٦ می‌باشد.

(۱) دانشیار، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه تبریز.
(۲) نویسندهٔ مسئول: دانشجوی دکترای، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه تبریز.
(۳) دانشیار، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه تبریز.

Email: S_Zadkarim@yahoo.com

مقدمه

حفاظت از گودها و ساختمان‌های موجود در مجاورت آنها و نیز تثبیت دیواره‌های خاکی، یکی از مهم‌ترین مشکلات و دغدغه‌های موجود در رشتهٔ مهندسی عمران در هنگام اجرای سازه‌ها می‌باشد. عدم رعایت روش‌های مناسب به‌منظور حفاظت گودها و هم‌چنین شیب‌های در حال احداث، منجر به خسارت جبران‌ناپذیری خواهد گردید و مخاطرات به‌وجود آمدهٔ ناشی از نشست‌های احتمالی و تقلیل ظرفیت باربری و تغییر مکان‌های جانبی، موجب ایجاد ترک در سازه‌های مجاور گود خواهدشد [1, 2].

به‌منظور جلوگیری از وقوع موارد ذکرشده لازم است قبل از شروع عملیات گودبرداری از روش‌های نگهداری و مهاربندی جانبی مناسب استفاده شود تا در محیطی پایدار و ایمن بتوان عملیات را ادامه داد. در این راستا از سیستم‌های حفاظت جانبی متعددی استفاده می‌شود که باتوجه به عملکرد مناسب و مزایای استفاده از میخ در خاک‌ها نسبت به سایر روش‌های ذکرشده از قبیلِ امکان اجرا در مجاورت سازه‌های موجود، روش ساخت مطابق با معیارهای زیست‌محیطی (بدون لرزش و سروصدا)، سادگی اجرا، سازگاربودن با عوارض زمین و وضعیت طرح و محل (انعطاف‌پذیری روش)، تغییرشکل‌های کم دیوار، صرفه‌جویی اقتصادی درمقایسه با دیگر روش‌های ساخت خصوصاً سازه‌های نگهبان گیردار، امکان کار در فضاهای محدود، اشغال فضای کمتر نسبت به انکر به‌دلیل طول کوتاه‌تر میخ‌ها، سرعت بالای انجام کار، اطمینان بیشتر میخ نیل‌ها نسبت به انکرها، دستکاری و اصلاح طرح بدون از دست دادن سطح ایمنی و مناسب بودن برای کاربردهای موقتی و دائمی، مطالعهٔ سیستم میخ‌کوبی در این تحقیق مد نظر قرار گرفته‌است.

مفاهیم طراحی یک سازهٔ نگهبان میخ‌کوبی‌شده براساس انتقال نیروی کششی تولیدشده در مسلح‌کننده می‌باشد. مکانیزم انتقال بار بین میخ‌ها و خاک تا حد ظرفیت از جا درآمدگی نهایی، به پارامترهای بسیار نظیر تکنیک نصب، روش حفاری، شکل مقطع حفاری، نوع گروت مصرفی، روش تزریق، فشار تزریق، اندازه و شکل مسلح‌کننده، مشخصات هندسی خاک محل (خصوصاً دانسیتهٔ نسبی خاک یا نسبت پیش‌تحکیمی)، نفوذپذیری خاک و مشخصه‌های مقاومت برشی خاک بستگی دارد. در این نوع سازه‌ها، تغییر مکان جانبی مشخص برای بسیج اندرکنش خاک میخ و تولید نیروهای کششی در میخ‌ها لازم می‌باشد. بنابراین در مناطق شهری، بایستی فاصلهٔ مورد نیاز بین تودهٔ میخ‌کوبی شده و سازهٔ مجاور آن حفظ شود تا از ایجاد بارهای اضافی بر سازهٔ مجاور جلوگیری شود [2, 3].

تحلیل‌های عددی انجام‌گرفته نشان می‌دهد که رفتار شیب میخ‌کوبی‌شده بیش از این‌که وابسته به شرایط انتهایی تسلیح‌کننده‌ها باشد به مشخصات سطح تماس تسلیح‌کننده و خاک اطراف بستگی دارد [4, 13]. میخ‌کوبی دیوارهای خاکی برای عملیات حفاری، به‌خصوص زمانی که برش‌های قایم یا نزدیک قایم خاک نیاز است بسیار مناسب می‌باشد. این تکنیک در عملیات ساخت بزرگراه‌ها، خاکبرداری فونداسیون پل ها، نگهداری دیواره‌های گودبرداری‌شده برای احداث سازه‌های زیرزمینی در محیط‌های شهری، تعمیر، تحکیم و بازسازی سازه‌های نگهبان فرسوده، هم‌چنین ورودی تونل‌ها بسیار موفقیت‌آمیز بوده‌است. به‌طور کلی از دیوارهای میخ‌کوبی‌شده در پایداری ترانشه‌ها در احداث بزرگراه‌ها و راه‌آهن، کوه‌بری به‌هنگام جاده سازی، پایداری جدارهٔ تونل‌ها و سازه‌های زیرزمینی، پایدارسازی و حفاظت گود در سازه‌های مناطق شهری، ساختمان‌های مجاور گود، ایستگاه‌های زیرزمینی مترو، تعمیر و بازسازی سیستم‌های نگهدارندهٔ قدیمی، پایدارسازی کوله‌های مجاور پل‌ها در زمین‌های سست و ریزشی به‌صورت موقت و دائمی بهره جسته می‌شود [6]. تا به‌حال مطالعات آزمایشگاهی، مقیاس واقعی و نرم‌افزاری زیادی در رابطه با اثرات سربار، فشار تزریق، فشار آب حفره‌ای بر مقاومت کششی میخ‌های گروتی در حالات اشباع و غیراشباع انجام یافته که نتایج قابل‌توجهی حاصل گردیده‌است [7-11].

بررسی رفتار میخ‌ها در خاک‌های رسی و مارنی که خاک‌های ریزدانه و بـا خـواص متفـاوت از خـاک‌هـای دانه‌ای محسوب می‌شوند، ازجمله موضوعاتی است کـه به آن کمتر پرداخته شـده‌اسـت. خـواص خمیـری بـالا، حالت نیمه‌اشباع داشتن، تغییـر رفتـار آن در بلندمـدت، تزریق‌پذیری بسیار کم آن و سایر موارد مشـابه ازجملـه معضلاتی است که عملکرد میخ در این نوع خـاک‌هـا را مستلزم مطالعهٔ بیشتر می‌نماید.

در سال‌های اخیر باتوجه به رشد و توسعهٔ شـهری و افزایش تراکم جمعیت، تعداد طبقات زیرزمین و عمق گودبرداری افزایش یافته‌است. باتوجه به قیمت زمـین و ارزش آن در منـــاطق مـــذکور کـــه عمومـــاً بخـــش بالانشین‌شهر را شامل می‌شود، لزوم استفادهٔ بهینـه از آن و نیـز اسـتفاده از اعمـاق زمـین بـه‌عنـوان فضـاهای مورداســتفاده در ســاخت و ســازهای شــهری، امــری گریزناپـــذیر اســـت کـــه در ایـــن‌صـــورت بحـــث گودبرداری‌های بزرگ و نحوهٔ مهار آنها معضـل اساسـی است و خواص خاک محل که عموماً مـارنی و هـوازده می‌باشد و رفتارهای خاص خـود را دارد بـر مشـکلات حاصـل افـزوده‌اسـت. پایـداری خـاک جـداره‌هـای گودبرداری‌شده و نیز تثبیت دیواره‌های خاکی ایجادشده در احداث راه‌ها و تونل‌ها و شریان‌های اصلی بـه‌عنـوان مسـایل مهـم در مهندسـی ژئوتکنیـک مطـرح بـوده و می‌باشد. لذا شناسایی و اجرای روش‌هایی که بـه‌کمـک آنها بتوان این مشکلات را تـا حـد امکـان و بـا صـرف کمترین هزینه در اسرع وقت رفع نمود، لازم و ضروری است. باتوجه به تنوع مارن در سطح (زرد، قهوهای، سبز زیتونی و...) بررسی تک‌تک آنهـا در زمـان کـم مقـدور نیست و نیاز به صرف وقت و هزینهٔ بیشـتری دارد ولـی به‌دلیل کثرت خاک سبز زیتونی که در بیشتر پروژه‌هـای عمرانی در سطح شـهر و در اعمـاق کمتـر زمـین قابـل مشاهده اسـت در ایـن تحقیـق، بررسـی رفتـار سیسـتم میخ‌کوبی در این‌گونه از مارن‌ها مد نظر می‌باشد.

خاک مارن

مارن یک اصطلاح برای نهشته‌هایی است که از ترکیـب رسوکربنات کلسیم تشکیل شده‌است. مارن‌ها در نـواحی شرقی، شمالی و جنوبی تبریز برونزد دارنـد و در بیشـتر نواحی شهر نیـز تشـکیل‌دهنـدهٔ سـنگ کـف هسـتند و به‌عبارت دیگر در زیر رسوبات آبرفتی قرار دارنـد. ایـن مارن‌ها به رنگ‌های مختلفی از جمله زرد، سبز زیتـونی، قهوه‌ای و خاکستری دیده می‌شوند. معمولاً لایه‌های زرد و سبز در قسمت‌های سطحی و مارن‌های خاکسـتری در اعماق قرار دارند و ازنظـر مکانیـک خـاک مـارن‌هـا در گروه خاک‌های نوع رسی یا سیلتی با خاصـیت خمیـری بالا طبقه‌بندی می‌شوند. حد روانی و شـاخص خمیـری مارن‌ها در محدودهٔ نسبتاً گسترده‌ای قراردارد، که این امر نشان‌دهندهٔ متغیربودن درصد کربنات کلسیم و نوع کانی رسی تشکیل‌دهندهٔ مارن‌ها می‌باشد.

مارن‌های تبریز در نقاط مختلف دارای تنوع زیادی می‌باشـند. ایـن تنـوع هـم در ظـاهر و هـم در خـواص مهندسی و ترکیبات کانی‌شناسی آنهـا وجـود دارد. ایـن مارن‌ها در شرایط متفاوت ازجمله عمق، میـزان سـربار، رطوبـت طبیعـی، درجـه اشـباع، میـزان درصـد رس و هـم‌چنـین وجـود رگـه‌هـای ژیـپس و ذغـال، رفتـار ژئومکانیکی متفاوتی از خود نشان می‌دهند. باتوجـه بـه اهمیت این مارن‌ها و گسترش آنها در شهر تبریـز و نیـز عملکرد متفاوت آنها، اقدام به بررسی رفتـار گونـه‌ای از این نوع مارن‌ها در برابر سیستم میخ‌گذاری، شده‌است.

تجهیزات انجام آزمون

برای انجام آزمون‌ها، نیاز به دستگاهی که بتواند با دقـت بالا مقادیر نیرو، فشار و تغییرمکان‌هـا را انـدازه‌گیـری و ثبت نماید است که بر این اساس اقدام به ساخت جـک ویژهٔ کشش نیل گردید که توان اندازه‌گیـری نیـرو را تـا ۵۰ تن و اندازه‌گیری تغییر شکل‌ها با دقت ۰/۱ میلی‌متـر دارد و مجهز به دیتـالاگر بـرای ثبـت داده‌هـای حاصـل به‌صورت اتوماتیک از هر ٦ ثانیه می‌باشد. هم‌چنین جک مذکور مجهز به سیستم قفل خزش برای ثابت نگه‌داشتن مقدار نیرو در طـول زمـان اسـت و درصـورت کـاهش مقدار نیرو به هر دلیلی، با اعمال و تنظیم فشـار روغـن، میزان نیرو را در مقدار ثابـت تعریـف‌شـده بـه دسـتگاه

کنترل می‌کند.

لودسل فشار، شیر کنترل فشار، شیر تخلیه، اهرم دوطرفه اعمال فشار، درگاه USB ثبت حافظه، سیستم مونیتورینگ (نیرو، فشار و تغییرشکل) و پانل تنظیمات داخلی دستگاه به‌همراه جک پایه، سیستم اتصال جک به نیل و خط‌کش اهمی از اجزای اصلی دستگاه مذکور می‌باشند. باتوجه به توصیهٔ استاندارد FHWA و نیز سایر استانداردهای معتبر برای اندازه‌گیری میزان تغییر مکان‌ها با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر، اقدام به نصب دو عدد گیج با دقت مذکور برای سنجش میزان تغییرمکان نیل و فونداسیونِ اجراشده در زیر جک برای قرائت داده‌ها به‌صورت دقیق در فواصل زمانی تعیین‌شده مطابق ضوابط آیین‌نامه‌های مربوط گردید. باتوجه به حساسیت کار در حفر گمانه‌ها و قابلیت تکرارپذیری آزمایش‌ها، سیستم حفاری بایستی از دقت و کیفیت بالایی برخوردار باشد و دارای لرزش‌های کم و در حد قابل قبول باشد که در این راستا اقدام به تهیهٔ تجهیزات حفاری با قابلیت حفاری قایم و افقی با زاویهٔ مشخص، ست تزریق گروت با توان اعمال فشار تا ۱۰ بار، میکسر اختلاط اولیه و ثانویه و نیز پکرهای ویژه برای تزریق در این تحقیق گردید (شکل‌های شمارهٔ ۱).



الف) تصویر هوایی سایت موردمطالعه



ب) سیستم جک و ملحقات آن نصب‌شده در سایت موردمطالعه



ج) دستگاه ثبت داده و تنظیم فشار



د) رابط اتصال جک به میخ و نصب گیج‌های اندازه‌گیری جابه‌جایی محوری میخ و نشست پد بتنی

شکل ۱ تصویر هوایی سایت مورد مطالعه به‌همراه جک کشش نیل و تجهیزات جانبی

طرح مسئله و انجام آزمون‌ها

طرح ژئوتکنیکی که براساس یک فرضیه برای پیش‌بینی رفتار یک سیستم ساخته می‌شود، براساس دقت عکس‌العمل‌های مورد انتظار، می‌تواند با جزئیات کم و زیاد، بسته به نوع کار، مورد استفاده قرار گیرد. با مدل‌سازی فیزیکی کوچک‌مقیاس می‌توان پارامترهای مختلف و تأثیر آنها را با دقت مناسب و تحت شرایط کنترل‌شده بررسی نمود که استفاده از مدل‌هایی با مقیاس واقعی نتایج واقع‌بینانه‌ای را ارائه خواهد نمود [10], [5].

باتوجه به جنس خاک مورد مطالعه که از نوع مارن زیتونی می‌باشد و این‌که تهیهٔ نمونهٔ دست‌نخورده از این خاک باتوجه به ساختار و لایه‌بندی آن بسیار مشکل می‌باشد، لذا در این تحقیق به‌جای تهیهٔ نمونهٔ دست‌نخورده از خاک مارن و استفاده از آن در آزمایشگاه که دارای خطاهای بزرگ و تاثیرگذار خواهدبود، اقدام به احداث یک سایت مطالعاتی روی

فیلد مشخص گردیده‌است، به‌طوری‌که ابتدا یک سایت با ابعاد مشخص و به عمق لازم در داخل سایت دانشگاه تبریز احداث گردید و در جهت جلوگیری از هوازدگی خاک، دیواره‌ها و کف آن با مواد مناسب پوشش داده‌شد و سپس آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و کانی‌شناسی لازم روی آن انجام شد و پس از شناخت کافی از خاک محل و درواقع شناسنامه‌دار کردن خاک موجود، نسبت به اجرای میخ‌ها در کف و تعدادی از آنها روی دیواره‌های گود، اقدام شد. باتوجه به تنوع مارن سبز زیتونی، فقط یک نوع مارن که مشخصات آن با آزمایش‌های مربوط به‌دست آمده‌است مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ۱ و شکل ۵). لازم به ذکر است با عنایت به این‌که اثر سربار از موارد مورد بررسی در این تحقیق نمی‌باشد و باتوجه به ساختار خاک مارن که دارای درزه‌هایی با جهات مختلف می‌باشد، جهت سهولت کار و دقت کافی در ایجاد و انجام آزمایش‌های موردنظر و به‌وجود آوردن شرایط یکسان در نمونه‌ها، اقدام به اجرای میخ‌ها به‌صورت قائم در فیلد ازپیش تعیین‌شده گردید و آزمایش‌های لازم برروی آنها انجام یافت. هم‌چنین تعدادی میخ در حالت افقی روی دیوارهٔ موجود در ضلع جنوبی سایت به‌منظور مقایسه و ایجاد رابطه بین برخی مقادیر حاصل، انجام یافت. درادامه رفتار نیل‌ها در این نوع خاک در برابر پدیدهٔ خزش مورد ارزیابی قرار گرفت. یکی از محدودیت‌های موجود، بحث مقیاس می‌باشد، از آن‌جا که انجام آزمایش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی باتوجه به جنس خاک مورد مطالعه و عدم امکان تهیهٔ نمونهٔ دست نخورده، ممکن نمی‌باشد لذا اجرای میخ‌ها در مقیاس واقعی در فیلد انجام شده‌است. برای رسیدن به اهداف پیش‌بینی‌شدهٔ پروژه اخیر، ٦ عدد میخ با مقیاس واقعی با طول تزریق‌شدهٔ ٤۰۰ و طول آزاد ٦۰ سانتی‌متر در فیلد مذکور با مقاطع حفاری متفاوت [سه‌پره‌ای (مقطع ناصاف) و ضربه‌ای (مقطع صاف)] به‌صورت عمودی و ۲ عدد نیل به‌صورت افقی با زاویهٔ ۱۵ درجه نسبت به افق با همان مشخصات ذکرشده، برای بررسی اثر تغییر در روش حفاری بر رفتار اصطکاکی و تأثیر آنها بر مقاومت کششی و رفتار خزشی میخ‌ها اجرا شد.

بررسی اثر دو نوع حفاری سه‌پره‌ای و ضربه‌ای که از رایج‌ترین انواع روش‌های حفاری محسوب می‌شوند به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر، در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفته‌است (جدول شمارهٔ ۲).

به‌منظور انجام این تحقیق سایتی با ابعاد و عمق مشخص آماده خواهدشد و کف و دیواره‌های آن با پوشش مناسب برای جلوگیری از هوازدگی پوشانیده خواهد شد. سپس آزمون‌های فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی لازم برروی خاک سایت مورد آزمایش انجام خواهد گرفت. درادامه نسبت به تعیین محل اجرای نیل‌ها اقدام گردید که پس از علامت‌گذاری محل اجرای آنها، پی‌های منفردی به ابعاد۱۲۰*۱۲۰ سانتی‌متر با ضخامت ۳۰ الی ٤۰ سانتی‌متر در آکس آنها اجرا گردید که در قسمت میانی آنها سوراخی به قطر ۵ اینچ برای حفر نیل‌ها و عملیات تزریق کار گذاشته‌شد. هدف از اجرای پی‌ها، بالا آوردن تراز سطح کار به‌دلیل حفاظت آنها از آب‌های سطحی، بارندگی‌های محتمل، ایجاد سطحی برای اجرای عملیات قفل بلندمدت نیل‌ها، اجرای سطح صاف و تراز برای استقرار جک کشش نیل و ممانعت از نشست‌های ناهمگون و قابل کنترل بودن مقادیر نشست در هنگام اعمال بار درصورت وجود می‌باشد (اشکال ۲). پی‌های احداثی از بتن با عیار ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب است که مسلح به شبکه آرماتور در قسمت میانی خود است و دارای توان باربری کافی در برابر بارهای وارد می‌باشد.

در ادامهٔ کار، اقدام به استقرار تجهیزات اجرای نیل از قبیل دستگاه حفار، کمپرسور بادی، ژنراتور سه‌فاز برای تأمین برق تجهیزات، ست تزریق اولیه و ثانویه و مصالح موردنیاز، گردید که دراین راستا تعداد ٦ عدد نیل به صورت قائم در کف سایت مطالعاتی ازپیش آماده‌شده از وسط پی‌های منفردی که سوراخی به قطر ۱۵ سانتی‌متر در قسمت میانی آنها تعبیه شده‌بود، حفر گردید. هم‌چنین اقدام به حفر و تزریق ۲ عدد نیل

به‌صورت افقی با شیب ۱۵ درجه نسبت به سطح افق در دیوارهٔ ضلع جنوبی سایت گردید که پس از اتمام عملیات اجرایی و آماده‌سازی انتهای نیل‌ها، دهانهٔ آنها با بالشتک بتنی مسلح به ابعاد ۱۰۰*۱۰۰ سانتی‌متر بسته شد و صفحه‌ای فلزی به ابعاد ۳۰*۳۰ سانتی‌متر با سوراخی به‌قطر ۵ سانتی‌متر در وسط آن در قسمت میانی بخش بتنی تعبیه گردید که این امر شرایط لازم برای تکیه‌دادن دهانهٔ جک کشش نیل و اعمال نیرو بر آن را فراهم می‌نماید و از نشست‌های زاید و پیش‌بینی‌نشده در حین انجام آزمایش ممانعت می‌کند (شکل‌های ۳ و ٤). لازم به ذکر است که مقادیر نشست قسمت‌های مختلف حین انجام آزمایش تا مرحلهٔ اتمام آن توسط چند گیج با دقت مناسب اندازه‌گیری و سنجش شده‌است. قبل از قرارگیری میلگردها در داخل گمانه‌های حفرشده، انتهای آنها به‌اندازهٔ ۱۵ الی ۲۰ سانتی‌متر رزوه شد و فضادهنده‌های لازم، از هر یک متر برروی آنها تعبیه گردید و سپس اقدام به تزریق گروت مطابق برنامه‌ریزی انجام‌شده، گردید.





شکل ۲ آماده‌سازی سایت مطالعاتی و نحوهٔ اجرای فونداسیون بتنی مسلح برای اجرای نیل‌ها



الف) تسطیح و آماده‌سازی سایت مطالعاتی



ب) دستگاه حفاری مورد استفاده در پروژه



ج) حفاری و میلگردگذاری و نصب لوله‌های تزریق گروت



د) متهٔ حفاری سه‌پره‌ای مورداستفاده در طرح



و) متهٔ حفاری ضربه‌ای مورداستفاده در طرح

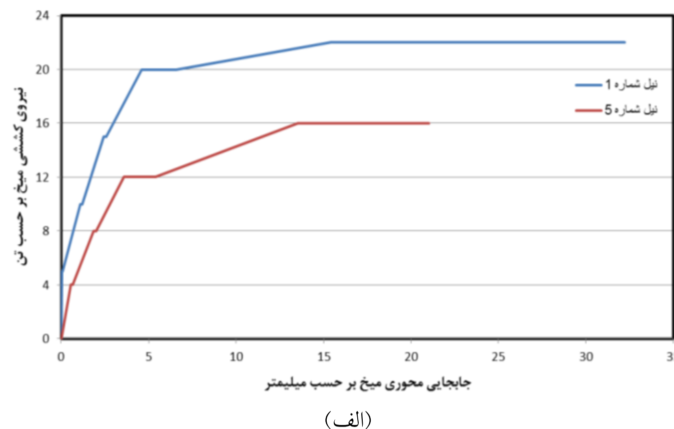


ه) نمونه‌های اخذشده برای تعیین مقاومت فشاری گروت سیمانی

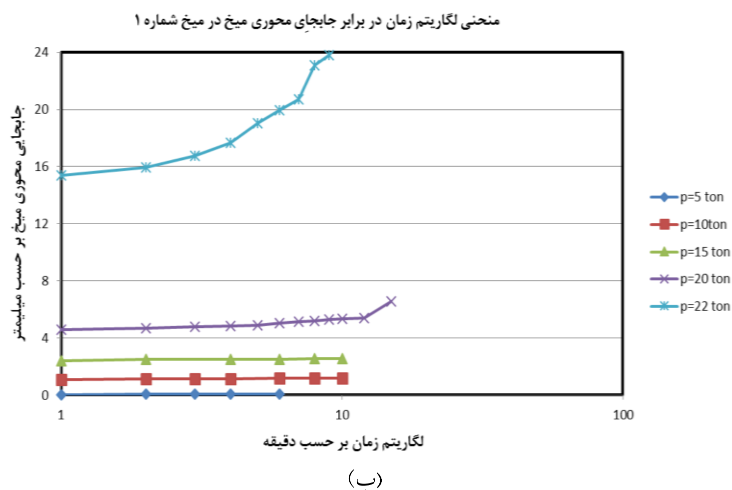
شکل ۳ آماده‌سازی و اجرای میخ‌های قائم و افقی در سایت توسط دستگاه حفاری با متهٔ سه‌پره‌ای و ضربه‌ای

در حفاری نیل‌ها از دو روش مرسوم حفاری بنام‌های سه پره‌ای و ضربه‌ای که در کارهای اجرایی بیشتر کاربرد دارند، استفاده به‌عمل آمده‌است به‌نحوی که تعداد ۳ عدد میخ با متهٔ سه‌پره‌ای و گروت سیمانی استاندارد به‌صورت قائم و یک مورد به‌صورت افقی با شرایط مشابه و تعداد ۳ عدد میخ با حفاری (ضربه‌ای- چرخشی) و گروت سیمانی استاندارد به‌صورت قایم و یک مورد نیز به حالت افقی در سایت مطالعاتی اجرا شد و مورد آزمایش قرار گرفت. لازم به ذکر است که عمل تخلیه در هر دو حالت به شکل پنوماتیکی می‌باشد.

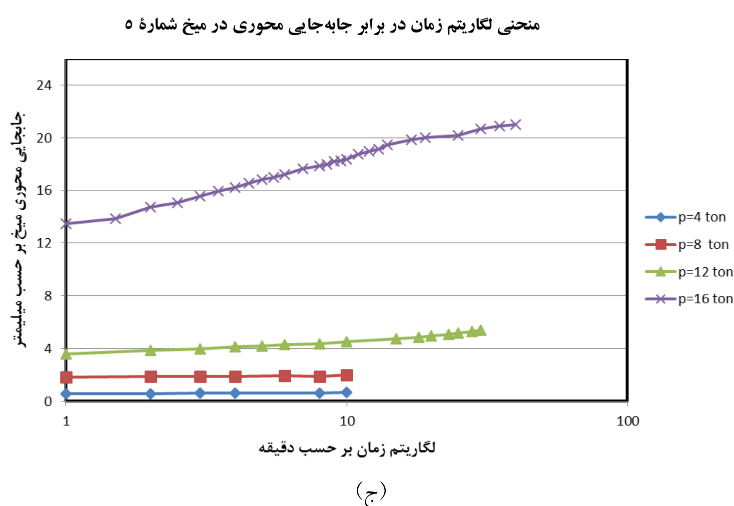
ابتدا آب و سیمان به نسبت ۱ به ۲ در میکسر اولیه، مخلوط و سپس به میکسر ثانویه انتقال یافت که در این مرحله، گروت سیمانی به مدت ۱۰ دقیقه آرام هم زده شد و پس از هم‌گنی کامل آن، عملیات تزریق انجام گردید. لازم به ذکر است که حداکثر زمان استفاده از مخلوط حاصل برای عملکرد و گیرایی بهتر آن براساس استانداردهای مربوط برابر ۳۰ دقیقه می‌باشد. باتوجه به این‌که زمان شروع آزمون‌های محلی، وابسته به اخذ مقاومت فشاری گروت تزریقی است لذا به‌منظور اطمینان از مقاومت فشاری گروت مورداستفاده در نیل‌ها، از گروت تمامی نیل‌ها در نمونه‌گیرهای مخصوص به قطر ۲ اینچ، نمونه‌برداری شد و پس از گذشت مدت زمان‌های ۳ و ۷ روز، نسبت به شکست و تعیین مقاومت فشاری آنها اقدام و پس از کسب مقاومت لازم توسط گروت، به انجام آزمون‌های واقعی در سایت پرداخته شد. تصویری از نمونه‌های اخذشده از گروت سیمانی مورداستفاده در طرح، برای تعیین مقاومت فشاری گروت قبل از انجام آزمون کشش نیل، مطابق آیین‌نامهٔ FHWA، در شکل شمارهٔ (۳ – ه) آورده شده‌است که مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه حداقل برابر ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع حاصل شده‌اند که تأمین‌کننده مقادیر آیین‌نامه‌ای برای شروع عملیات آزمون کشش نیل می‌باشد. درادامه بااستفاده از تجهیزات حفاری و اختلاط و تزریق دارای دقت بالا، نسبت به اجرای میخ‌ها در خاک مارن با تغییر در نوع گروت مصرفی، اقدام و آزمون‌های لازم مانند تعیین مقاومت کششی میخ‌ها در حالات مذکور و اثرگذاری خزش در این نوع خاک‌ها بر مقاومت کششی، مورد بررسی قرار گرفت. به‌عنوان نمونه، نتایج مربوط به آزمون‌های شمارهٔ (۱ و ۵) در شکل‌های زیر ارائه گردیده‌است.



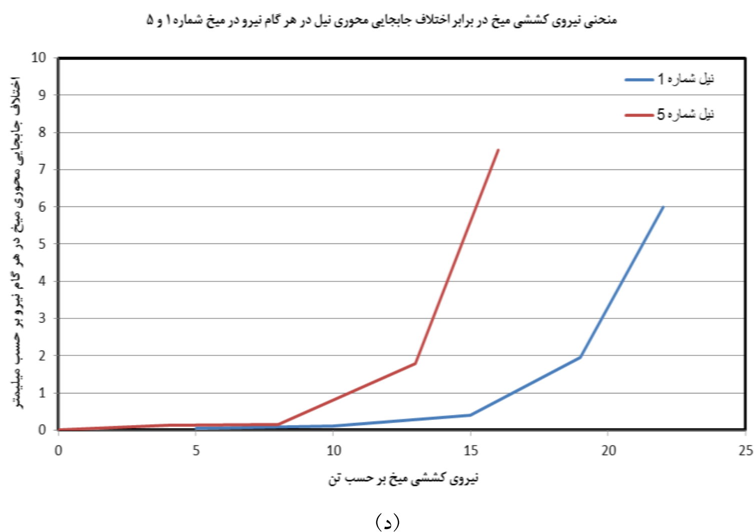
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ٤ الف) دیاگرام نیروی کششی در برابر جابه‌جایی محوری میخ تا مرحلهٔ گسیختگی در میخ‌های شمارهٔ ۱ و ۵، ب) دیاگرام جابه‌جایی محوری میخ در برابر لگاریم زمان تحت بارهای کششی متفاوت در میخ شمارهٔ ۱، ج) دیاگرام جابه‌جایی محوری میخ در برابر لگاریم زمان تحت بارهای کششی متفاوت در میخ شماره ۵، د) دیاگرام نیروی کششی در برابر تغییرات جابه‌جایی در گام‌های مختلف در میخ‌های شمارهٔ ۱ و ۵

جدول ۱ مشخصات مارن زیتونی مورداستفاده در طرح و پارامترهای مقاومتی آن

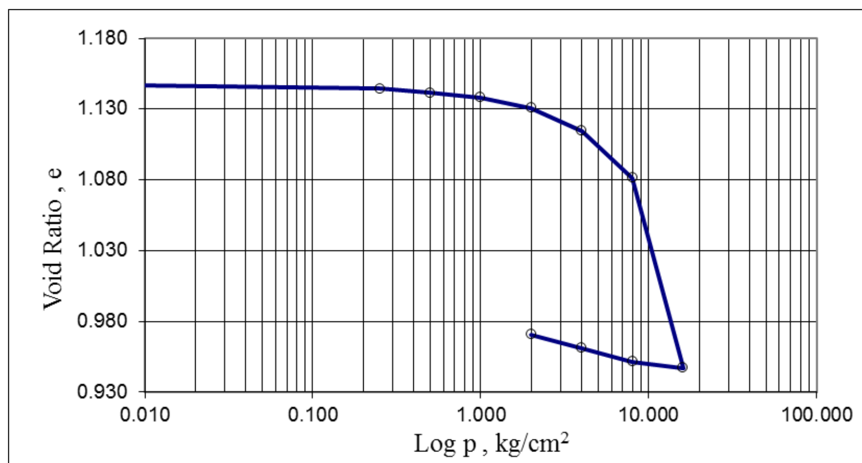
عمق (m)	وزن مخصوص مرطوب (kg/m^3)	رطوبت (%)	حد روانی (%)	حد خمیری (%)	چسبندگی (kg/m^2)	زاویهٔ اصطکاک داخلی (درجه)
۲	۱۸۶۰	۳۶,۶	۷۵	۵۱	۱,۱	۱۹
٤	۱۹۰۰	٤۱	۷۸	٦۰	۱,۲	۲۰
٦	۱۸۹۰	٤۵	۸۰	٦۰	۱,۳	۲۱

جدول ۲ مشخصات ابعادی نیل‌ها و گروت مصرفی

طول تزریق‌شدهٔ میخ	طول آزاد میخ	قطر نهایی میخ	شمارهٔ میلگرد	نوع سیمان گروت	روش حفاری
٤ متر	۰/٦ متر	۰/۱۱ متر	۳۲	سیمان تیپ دو صوفیان	سه‌پره‌ای- ضربه‌ای

جدول ۳ نتایج آزمون‌های واقعی، مشخصات ابعادی و جزئیات اجرایی آنها

شمارهٔ میخ	قطر میخ (سانتی‌متر)	طول تزریق‌شده (سانتی متر)	طول آزاد (سانتی‌متر)	حالت اجرا	نوع حفاری	نوع گروت مصرفی	توان کششی در گسیختگی	شروع خزش غیرقابل قبول (تن)	نیروی قابل اعتماد برای اجرا (تن)
۱	۱۱	٤۰۰	٦۰	قائم	سه‌پره‌ای با تخلیهٔ بادی	سیمانی استاندارد با تزریق ثقلی	۲۲	۱۹	۱٦
۲	۱۱	٤۰۰	٦۰	قائم	سه‌پره‌ای با تخلیهٔ بادی	سیمانی استاندارد با تزریق ثقلی	۲۱	۱۷	۱٤
۳	۱۱	٤۰۰	٦۰	قائم	سه‌پره‌ای با تخلیهٔ بادی	سیمانی استاندارد با تزریق ثقلی	۲۲	۱۸	۱۵
٤	۱۱	٤۰۰	٦۰	قائم	ضربه‌ای با تخلیهٔ بادی	سیمانی استاندارد با تزریق ثقلی	۱۸	۱۵	۱۲
۵	۱۱	٤۰۰	٦۰	قائم	ضربه‌ای با تخلیهٔ بادی	سیمانی استاندارد با تزریق ثقلی	۱٦	۱۲	۱۰
٦	۱۱	٤۰۰	٦۰	قائم	ضربه‌ای با تخلیهٔ بادی	سیمانی استاندارد با تزریق ثقلی	۱۷	۱٤	۱۲
۷	۱۱	٤۰۰	٦۰	افقی	سه‌پره‌ای با تخلیهٔ بادی	سیمانی استاندارد با تزریق ثقلی	۱۵	۱۳	۱۱
۸	۱۱	٤۰۰	٦۰	افقی	ضربه‌ای با تخلیهٔ بادی	سیمانی استاندارد با تزریق ثقلی	۱۲	۱۰	۹



شکل ۵ منحنی تحکیم خاک مارن مورد بررسی در طرح

نتایج

نتایج آزمون‌های انجام‌یافته با نوع حفاری‌های متفاوت (متهٔ سه‌پره با تخلیه‌بادی و متهٔ ضربه‌ای با تخلیهٔ بادی) حاکی از افزایش ۲۰ الی ۲۵ درصدی مقاومت کششی میخ‌های اجراشده با حفاری سه‌پره‌ای و ملاتی سیمانی استاندارد، تزریق‌شده به‌صورت ثقلی نسبت به حالت حفاری ضربه‌ای با شرایط تزریق مشابه در میخ‌های قایم و افزایش حدود ۱۵ درصدی آن در میخ‌های افقی می‌باشد که این امر می‌تواند ناشی از هم‌سو شدن ذرات خاک مارن در اثر ضربه و صیقلی شدن مقطع حفاری و عدم اتصال و گیرش مناسب گروت با خاک اطراف باشد. باتوجه به صیقلی شدن مقطع حفاری، جداشدگی ملات سیمانی از خاک اطراف در اثر جمع‌شدگی ملات (Shrinkage) در هنگام گیرش آن (مخصوصاً در زون بالا) به‌راحتی صورت می‌گیرد که این امر در تضعیف اصطکاک بین دو سطح مؤثر است و باعث کاهش مقاومت کششی میخ می‌گردد. بسته‌شدن خلل و فرج موجود در دیواره در اثر فشار ناشی از ضربات وارد در حین حفاری نیز مانع نفوذ کافی ملات سیمانی در داخل آن می‌شود و گیرایی بین دو سطح را کاهش می‌دهد. بهبود رفتار خزشی میخ‌ها در حالت استفاده از حفاری‌سه‌پره‌ای در هر دو حالت افقی و قائم نسبت به حفاری ضربه‌ای مشاهده می‌گردد که شروع خزش غیرقابل‌قبول (جابه‌جایی بالای ۲ میلی‌متر در بازهٔ زمانی مشخص) را به تعویق می‌اندازد و رفتار بلندمدت قابل‌قبول‌تری از خود نشان می‌دهد (جدول شمارهٔ ۳). هم‌چنین دلیل تأثیر پایین شکل مقطع حفاری در میخ‌های افقی را می‌توان به ریزش و جداشدگی ملات سیمانی در زون بالای مقطع حفاری نسبت داد.

بحث

خواص خاک مارن و خصوصیات رفتاری منحصربه‌فرد آن مخصوصاً در بلندمدت، باعث گردیده‌است که در طراحی سیستم‌های میخ‌گذاری خاک تمهیدات ویژه‌ای اندیشیده شود و ضرایب اطمینان بالایی مدنظر محاسب محترم باشد. بررسی‌ها و تجربیات عملی نشان‌دهندهٔ کاهش توان کششی نیل‌های اجراشده در خاک مارن با گذشت زمان می‌باشد که این امر می‌تواند به‌دلیل رفتار خزشی این نوع خاک و هم‌سو شدن دانه‌های رس، تحتِ بارِ وارد باشد. لذا بهبود رفتار میخ‌ها در خاک مارن با روش‌های مختلف و افزایش ظرفیت کششی و بهبود رفتار خزشی آن مخصوصاً در بلندمدت از اهداف این مقاله به‌شمار می‌آید. حفاری سه‌پره‌ای به‌دلیل ایجاد آشفتگی در دیواره و گیرایی بهتر گروت با خاک اطراف می‌تواند شرایط مناسب‌تری را فراهم نماید و رفتار کششی و خزشی نیل را بهبود بخشد. لازم به‌ذکر است باتوجه به وجود انواع مارن‌ها با قابلیت‌ها و رفتارهای متفاوت، با تغییر نوع مارن، مشخصات فیزیکی و پارامترهای مقاومتی آن، نتایج به‌دست‌آمده قابل‌تغییر است و نمی‌توان نتایج حاصل را به تمامی مارن‌ها ربط داد. هم‌چنین مطالعات قبلی انجام‌یافته درمورد خاک‌های رسی با پلاستیسیته و رطوبت بالا که تقریباً رفتاری مشابه خاک‌های مارنی دارند بیانگر افزایش حدود ۲۰ الی ۳۰ درصدی مقاومت کششی نیل‌ها بوده‌است.

توصیه‌ها

بررسی رفتار نیل‌های گروتی تحت فشار تزریق متفاوت می‌تواند باعث بهبود رفتار نیل گردد. هم‌چنین بررسی رفتار نیل‌ها تحت بارهای متفاوت وارد با نصب تنش‌سنج‌ها و کرنش‌سنج‌هایی در جدار آن و پایش مقادیر حاصل و بررسی عملکرد نیل می‌تواند در آنالیز رفتاری آن بسیار مفید باشد. تغییر در نوع گروت مصرفی، فشار تزریق گروت، زمان تزریق تحت فشار، اثر سربار وارد و... ازجمله موضوعاتی است که در این نوع خاک جای فراوان برای کار دارد. هم‌چنین استفاده از نرم‌افزارهای رایج ژئوتکنیکی و شبیه‌سازی و ارائهٔ مدل واقعی از طرح و نیز مقایسهٔ آن با مقادیر حاصل از مطالعات میدانی و نیز مقادیر پیشنهادی در آیین‌نامه‌های

معتبر مانند FHWA، میتواند در بهینه‌سازی طراحی سیستم‌های نگهداری دیواره منجمله سیستم میخ‌کوبی خاک مفید واقع گردد.

لازم به ذکر است با توجه به تنوع مارن‌ها ازنظر رنگ و پارامترهای مقاومتی، تحقیق برروی سایر مارن‌ها نیز حائز اهمیت است و نتایج حاصل از این تحقیق را نمی‌توان به تمامی خاک‌های مارنی تعمیم داد.

مراجع

1. FHWA, "Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls", Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Washington, D.C., USA, Report No. FHWA-SA-96-069R, (1998).
2. CLOUTERRE, "French National Research Project Clouterre-Recommendations", English Translation, Federal Highway Administration, FHWA-SA-93-026, Washington D.C., USA, (1991).
3. GEO Guide, "Geoguiding 7–Guide to Soil Nail Design and Construction", Published by Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. ISBN: 978-962-02-0375-6, GEO REPORT, (2008).
4. Rasekh, M., Yazdani, M., "A Study of Grout Properties in Soil Nails Pullout Tests", *9th International Congress on Civil Engineering*, Iran, (2012).
5. Franzen, G., "Soil Nailing – A Laboratory and Field Study of Pullout Capacity", Ph.D. thesis, department of Geotechnical Engineering, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, (1998).
6. Byrne, R.J., Cotton, D., Porterfield, J., Wolschlag, C., and Ueblacker, G., "Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls", *Report FHWA-SA-96-69R, Federal Highway administration* (FHWA), Washington, D.C, (1998).
7. Cheng-Yu Hong., Jian-Hua Yin., Hua-Fu Pei., Wan-Huan Zhou., "Experimental Study on the Pullout Resistance of Pressure-grouted Soil Nails in the Field", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 50, No. 7: pp. 693-704, (2013).
8. Kim, Yongmin., Lee, Sungjune., Jeong, Sangseom., Kim, Jaehong., "The Effect of Pressure-grouted Soil Nails on the Stability of Weathered Soil Slopes", Computers and Geotechnics, 49, 253-263, (2013).
9. Pradhan, B., Tham, L., Yue, Z., Junaideen, S., and Lee, C., "Soil–Nail Pullout Interaction in Loose Fill Materials", *Int. J. Geomech*, No. 6(4),pp. 238–247, (2006).
10. Su, L., Chan, T., Yin, J., Shiu, Y., and Chiu., "Influence of Overburden Pressure on Soil–Nail Pullout Resistance in a Compacted Fill", *J. Geotech. Geoenviron. Eng*, No. 134(9), pp. 1339–1347, (2008).
11. Akhtar Hossain, M., Yin j., "Influence of Grouting Pressure on the Behavior of Unsaturated Soil-

ment Interface", American Society of Civil Engineers, (2012).

12. Seo, HJ., Jeong, KH., Choi, H., Lee, IM., "Pullout Resistance Increase of Soil Nailing Induced by Pressurized Grouting", *J Geotech Geoenviron Eng*, No. 138(5), pp. 604–13, (2012).
13. Wan-Huan Zhou., Jian-Hua Yin., and Cheng-Yu Hong., "Finite Element Modelling of Pullout Testing on a Soil Nail in a Pullout Box under Different Overburden and Grouting Pressures", *Canadian Geotechnical Journal*, pp. 557-567, (2011).